

Nagroda Nobla z (astro)fizyki 2011

Kto i za co dostał tę nagrodę?

Laureatami Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki w 2011 roku zostali astrofizycy: Saul Perlmutter, Brian Schmidt oraz Adam Riess. Byli oni liderami dwóch konkurujących grup obserwatorów znanych jako:

- Supernova Cosmology Project (Perlmutter)
- High-z Supernova Search Team (Riess, Schmidt)

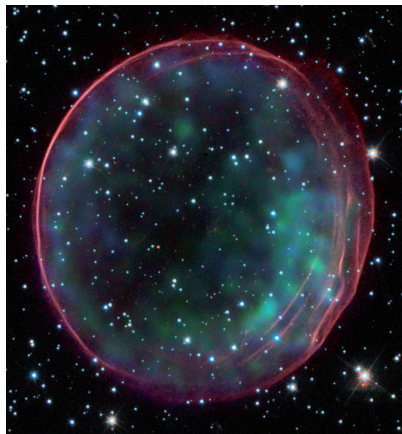


Od lewej: Saul Perlmutter, Adam G. Riess, Brian P. Schmidt

Celem ich obserwacji było zbadanie najbardziej odległych supernowych, czyli eksplozji gwiazd, już na granicy obserwowalnego Wszechświata. Obydwa projekty to zaplanowane z rozmachem zautomatyzowane przeglądy nieba, które doprowadziły do odkrycia kilkuset supernowych. Z tych obserwacji wywnioskowano, że rozszerzanie się Wszechświata przyspiesza. Jest to rewolucyjny wniosek, dowodzący pośrednio, że znana nam materia stanowi maksymalnie 4% składników Kosmosu. Pozostałe to: tzw. ciemna materia (około 23%) i ciemna energia (około 73%).

Co takiego specjalnego jest w supernowych typu Ia? Co to są wskaźniki odległości?

Mierzenie odległości w Kosmosie nie jest sprawą prostą. Nie można rozciągnąć liny czy po prostu tam polecieć. Na niewielkich dystansach skuteczne są metody znane z geodezji: mierzenie kątów w trójkącie, którego mniejszy bok to średnica orbity ziemskiej. Na dalszych odległościach używamy tzw. świec standardowych. Źródło światła wydaje się tym słabsze, im dalej jest od nas. Jeżeli znamy moc promieniowania pewnego obiektu (gwiazdy, galaktyki, kwazara, supernowej czy obłoku gazu) i zmierzmy strumień światła (lub natężenia innych fal elektromagnetycznych, np. radiowych) to możemy prosto obliczyć odległość. Tyle mówi teoria. W praktyce nie dysponujemy wzorcami jasności, ale realnymi zjawiskami i obiektami w Kosmosie. Są one zmienne i różnorodne. Wśród nich wyróżniają się jasnością i powtarzalnością supernowe typu Ia, o których sądzimy, że są wybuchami termojądrowymi białych karłów. Niestety, pojawiają się rzadko. W naszej Galaktyce średnio 1–2 na tysiąc lat. Zaobserwowanie dostatecznie dużej ich liczby wymagało gigantycznej pracy, za co (między innymi) uhonorowano tegorocznych noblistów.



Pozostałość po supernowej SNR-0509

Co to jest prędkość ucieczki, przesunięcie ku czerwieni i stała Hubble'a

Od lat 20. XX wieku wiadomo, że wszystkie dostatecznie odległe galaktyki oddalają się od nas, a właściwie każda oddala się od każdej. Zjawisko to określamy jako **rozszerzanie się Wszechświata**, a jego prostym modelem jest nadmuchiwany balon z kropkami. Prędkością ucieczki nazywamy pozorną szybkość oddalania się galaktyki od nas. Mierzona jest za pomocą **efektu Dopplera**, czyli zjawiska wydłużania się długości fali emitowanej przez oddalające się od nas obiekty. W przypadku fal dźwiękowych zjawisko jest znane z życia codziennego jako zmiana wysokości dźwięku, np. syreny mijającej nas karetki pogotowia. W przypadku światła wydłużenie długości fali to zmiana koloru na bardziej czerwony. Dlatego kosmologowie zamiast o prędkości ucieczki wolą mówić o **przesunięciu ku czerwieni** obserwowanego promieniowania. Jest ono oznaczane literą „z”, od czego pochodzi nazwa drugiego z nagrodzonych zespołów.

Jeżeli pozorna prędkość ucieczki jest mniejsza od prędkości światła (czyli przesunięcie ku czerwieni $z < 1$) to jest ona (prędkość ucieczki) wprost proporcjonalna do odległości, a współczynnik proporcjonalności nazywamy **stałą Hubble'a**¹ i oznaczamy literą H_0 . Stała ta ma fundamentalne znaczenie w kosmologii, np. wiek rozszerzającego Wszechświata (czyli czas który upłynął od jego powstania) to w przybliżeniu $1/H_0 = 14$ miliardów lat.

Jakie są trzy klasyczne modele Wszechświata i jak ich ewolucja zależy od jego średniej gęstości?

W kosmologii rozważa się następujący prosty model Wielkiego Wybuchu (powstania Wszechświata). W chwili $t = 0$ dochodzi w pustej przestrzeni do eksplozji bardzo gęstej kuli „pyłu”, który można wyobrażać sobie jako np. ziarenka piasku. Początkowo kula będzie rozszerzała się z dużą prędkością, a poszczególne „ziarenka” będą oddalały się od siebie, tak jak galaktyki, zgodnie z prawem Hubble'a. Przyciąganie grawitacyjne będzie spowalniało ekspansję kuli pyłu i w zależności od początkowej energii „eksplozji” są możliwe trzy scenariusze „końca świata”:

¹ O astronomie Hubble'u czytaj w *Neutrinie* 4 (<http://www.if.uj.edu.pl/Foton/>).

- a) energia w chwili $t = 0$ jest na tyle duża, że „Wszechświat” będzie rozszerzał się wiecznie ze stałą szybkością;
- b) energia dla $t = 0$ jest tak „dobrana”, że prędkość ekspansji dąży do zera;
- c) energia początkowa jest zbyt mała i „Wszechświat” najpierw przestanie się rozszerzać, po czym zacznie się kurczyć i z powrotem zapadnie.

Dysponując wyznaczoną odległością oraz zmierzoną prędkością ucieczki można sprawdzić, który z modeli rozszerzającego się Wszechświata jest poprawny. Jeżeli żaden z opisanych scenariuszy nie jest poprawny, to w prostym modelu opisanym wyżej brakuje czegoś bardzo istotnego.

Supernowa Ia jako wskaźnik odległości

Klasyfikacja supernowych nabrała współczesnego kształtu w latach 80. i 90. XX wieku. Ustalono, że źródłem energii tak potężnych eksplozji może być jedynie energia termojądrowa lub grawitacyjna. Astronomowie zaś ustalili, że **supernowymi termojądrowymi** są wyłącznie te sklasyfikowane jako **typ Ia**. Co więcej, termojądrowe wybuchy gwiazd są do siebie bardzo podobne. Wszystkie pozostałe typy supernowych (Ib/c, II, hipernowe i rozbłyski gamma) są typu implozyjnego i nie mają (jak dotąd) zastosowania w kosmologii ze względu na ich ogromną różnorodność.

Model supernowej typu Ia zakłada, że biały karzeł „wysysa” materię z gwiazdy-towarzysza do momentu, gdy osiągnie masę zapłonu równą 1,39 mas Słońca. Każdy wybuch jest w pierwszym przybliżeniu identyczny. Bardziej szczegółowe obserwacje pokazały, że pewne różnice istnieją i są na tyle duże, że omawiane supernowe *nie nadawały się* do pomiarów kosmologicznych, które mogłyby rozstrzygnąć czy Wszechświat zwalnia w sposób zgodny z oczekiwaniami.

W ciągu kolejnych lat naukowcy przedstawili nowe wyniki (tzw. relacja Phillipsa, prace na ten temat pisali także nobliści: Riess i Perlmutter), dzięki którym udało się przeskalować większość supernowych Ia do jednej, standardowej jasności. Badania wykazały, że supernowe, które zmieniają jasność wolniej, są też silniejsze. Współczynnik proporcjonalności wyznacza się empirycznie, bo teoria termojądrowych wybuchów nadal jest niezadowolająca.

Jaki jest wynik obserwacji zespołów badawczych?

Dzięki kalibracji świec standardowych (wybuchów typu Ia) droga do wyselekcjonowania poprawnego modelu Wszechświata stała otworem. Jedyne, czego brakowało, to odpowiednia liczba dostatecznie odległych i dokładnie obserwowanych supernowych typu Ia. Laureaci tegorocznej Nagrody Nobla pokierowali pracami zespołów, które konsekwentnie zrealizowały postawione cele. Wynik końcowy analizy danych obserwacyjnych był zadziwiający. **Okazało się, że rozszerzanie Wszechświata nie tylko nie zwalnia, ale obecnie znacząco przyspiesza!** Modele tego typu były dyskutowane w przeszłości, ale nieliczni traktowali je poważnie.

Co opisuje tak zwana stała kosmologiczna?

Jedynym akceptowalnym wyjaśnieniem obserwacji noblistów jest istnienie *stałej kosmologicznej* Λ , czyli powszechnie występującej siły odpychającej. Bardzo mała wartość Λ powoduje, że siła ta ujawnia się tylko na dużych (kosmologicznych) dystansach, przewyżczając przyciąganie grawitacyjne pozostałych składników Wszechświata.

Niezerowa wartość Λ została wprowadzona do teorii grawitacji przez A. Einsteina, który jednakże szybko uznał to za jedną z największych swoich pomyłek, gdyż obserwacje negatywnie zweryfikowały jego statyczny model Wszechświata z $\Lambda > 0$. Rozszerzający się model działał równie dobrze bez stałej kosmologicznej. Współcześni Einsteinowi fizycy-teoretycy (m.in. Lemaître, Robertson) doskonale zdawali sobie sprawę, że obserwacje niewiele mówią o faktycznej wartości Λ . Poziom dokładności i zasięg obserwacji wymagany w celu rozróżnienia licznych modeli rozszerzających się był poza zasięgiem techniki z połowy XX wieku. Podejmowane próby nie przyniosły zadowalających rezultatów. Jakość i jasność używanych indykatorów odległości (np. galaktyki, kwazary) jak również użytego sprzętu (teleskopy itd.) były niewystarczające. Wysuwane argumenty na rzecz tezy, że $\Lambda = 0$ były natury raczej estetycznej niż naukowej. Jedynie posiadający licznych przeciwników (ale trudny do obalenia) model stanu stacjonarnego Freda Hoyle'a przewidywał, że $\Lambda > 0$, oraz że rozszerzanie Wszechświata stale przyspiesza.

Jakie są konsekwencje odkrycia?

Konsekwencje odkrycia przyspieszenia ekspansji są obecnie przedmiotem intensywnych badań naukowych. Natura siły odpychającej jest rozpatrywana w duchu oryginalnego pomysłu Einsteina (jako kolejna fundamentalna stała fizyczna) lub jako nowa, niezbadana forma „materii” określana jako **ciemna energia**. Byłby to dominujący składnik Wszechświata, o nieznanych własnościach. Ogłoszenie werdyktu Komitetu Noblowskiego zbiegło się z trwającymi właśnie obserwacjami supernowej 2011fe, która pojawiła się w galaktyce M101 pomiędzy 23 a 24 sierpnia 2011 roku. Na wybuch supernowej typu Ia tak blisko (21 milionów lat świetlnych) astronomowie i astrofizycy czekali kilkadziesiąt lat. Planowane obserwacje pozwolą na precyzyjne wykalibrowanie skali odległości, a także zrozumienie szczegółów mechanizmu eksplozji. To w efekcie przełoży się na lepsze zrozumienie wyników uzyskanych przez tegorocznych noblistów oraz ich konsekwencji natury kosmologicznej.

Andrzej Odrzywołek